

ANALÝZA OBJEMOVÝCH ZMIEN A FYZIKÁLNYCH
VLASTNOSTÍ ZMESÍ PIESOČNATO-HLINITEJ PÔDY A BIOUHLIA

Katarína Brezianská, Hana Hlaváčiková

V práci boli hodnotené objemové zmeny a zmeny fyzikálnych charakteristík piesočnato-hlinitkej pôdy, do ktorej bolo pridané biouhlie ako zložka na zlepšenie kvality pôdy. V laboratórnych podmienkach boli vytvorené porušené vzorky zmesi pôdy a biouhlia, ktoré sa do pôdy pridávalo v množstve $40 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ a $80 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. Tieto hodnoty zodpovedali množstvu biouhlia aplikovaného v poľných podmienkach. Na porušených vzorkách boli merané body vlhkostnej retenčnej krivky. Následne boli vypočítané a vyhodnotené vybrané základné fyzikálne vlastnosti pôdy a podľa koeficientu COLE (Coefficient Of Linear Extensibility) bol stanovený zmršťovaco-napučiavaci potenciál čistej pôdy a zmesi.

KLÚČOVÉ SLOVÁ: biouhlie, objemové zmeny, fyzikálne vlastnosti pôdy

ANALYSE OF VOLUME CHANGE AND SOIL PHYSICAL PROPERTIES OF SANDY-LOAM SOIL AND BIOCHAR MIXTURES. This study evaluates the volume changes and changes in the physical characteristics of the sandy-loam soil, to which was added biochar as an ingredient for soil quality improvement. Under laboratory conditions were created disturbed samples of soil and biochar mixtures which were added to the soil in the rates corresponding to $40 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ and $80 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. Samples were measured for moisture retention curve points. Afterwards, selected basic physical properties of the soil were calculated and evaluated according to the Coefficient of Linear Extensibility (COLE), the shrinkage potential of pure soil and mixtures was determined.

KEY WORDS: biochar, volume change, soil physical properties

Úvod

Objemové zmeny sú jednou so základných fyzikálnych vlastností pôdy. Je to trojrozmerný proces, kde dochádza k vertikálnym aj horizontálnym zmenám geometrických rozmerov pôdných vzoriek. V prírodných podmienkach sa prejavujú vznikom puklín a poklesom pôdy a menia sa v priebehu celého roka. Zmeny objemu ovplyvňuje viacero faktorov ako sú napr. zmena vlhkosti, teploty, pôdnej štruktúry, intenzívny rozvoj koreňového systému atď. Objemové zmeny môžu výrazne ovplyvniť dynamiku hydrologických procesov v zóne aerácie pôdy. V určitom období roka a za určitých klimatických podmienok vytvárajú pukliny väčší retenčný objem pôd, čo je prospešné pri zadržiavaní vody pri výdatných zrážkach. Negatívny vplyv vzniku puklín je najmä počas vegetačného obdobia, kedy dochádza po dlhodobom období sucha k presušovaniu

pôdneho horizontu do väčších hĺbok. Pri náhlych extrémnych zrážkach potom voda rýchlejšie odtečie do spodných horizontov a vrstva dôležitá pre rozvoj koreňového systému rastlín ostáva nedostatočne zásobená vodou. Na skvalitnenie pôdy sa do povrchových vrstiev zapracúvajú organické materiály, ako je napríklad aj biouhlie. Je to pórovitý materiál s nízkou hustotou, získaný pyrolýzou biologického materiálu pri rôznych teplotách. Na biouhlie sa viažu živiny a voda, tým sa zlepšuje mikrobiálne zdravie pôdy. V závislosti od množstva zapracovaného organického materiálu sa mení štruktúra pôdy, zhutňovanie pôdy, pórovitosť, priepustnosť, hustota a obsah vody (Chan, 2007, Kishimoto and Flanagan, 1985).

V práci boli hodnotené zmeny fyzikálnych charakteristík piesočnato-hlinitkej pôdy, do ktorej bolo pridané biouhlie ako zložka na zlepšenie kvality pôdy. V laboratórnych podmienkach boli vytvorené porušené vzorky

zmesí pôdy a biouhlia, ktoré sa do pôdy pridávalo v množstvách korešpondujúcich ich aplikácii v poľných podmienkach v hodnotách 40 t.ha^{-1} a 80 t.ha^{-1} . Na porušených vzorkách boli merané body vlhkostnej retenčnej krivky. Následne boli vypočítané a vyhodnotené vybrané základné fyzikálne charakteristiky pôdy a podľa koeficientu COLE (Coefficient Of Linear Extensibility) bol stanovený zmršťovaco-napučiavací potenciál pôdy.

Materiál a metódy

Na analýzu objemových zmien boli použité zmesi pôdy a biouhlia, ktoré boli pripravené v laboratórnych podmienkach (Hlavačiková a kol., 2016). Čistá pôda pochádza z experimentálnej plochy, ktorá sa nachádza na lokalite Malanta. Ide o hnedozem kultizemnú, pôdny druh piesočnato-hlinitá (Domanová et al., 2015). Podrobná charakteristika zrnitostného profilu pôdy je uvedená v práci Šurda a kol. (2014). Priemerné hodnoty podielu jednotlivých zrnitostných frakcií pre pôdny horizont 150 cm sú 42,04 % piesku, 43,83 % prachových častíc a 14,19 % ílu.

Biouhlie použité v práci bolo zakúpené od firmy Sonnenerde, Rakúsko. Bolo vyrobené pyrolýzou biologického materiálu (z kalov papierového vlákna a obilných šupiek v pomere 1:1 vzhľadom k hmotnosti) pri teplote $550 \text{ }^\circ\text{C}$ po dobu 30 minút v reaktore Pyreg (Pyreg GmbH, Dörth, Nemecko). Veľkosť frakcie biouhlia bola 0 – 5 mm, špecifická plocha povrchu sa rovnala hodnote $21,7 \text{ m}^2\text{.g}^{-1}$, objemová hmotnosť bola $0,206 \text{ g.cm}^{-3}$ a hodnota pH 8,8.

Zo zmesí pôdy a biouhlia boli vytvorené tri sady po päť porušených vzoriek o objeme Kopeckého valčekov. Biouhlie sa do pôdy pridávalo v presnom pomere, ktoré zodpovedalo hodnotám jeho aplikácie v poľných podmienkach 40 t.ha^{-1} a 80 t.ha^{-1} . Podrobný postup prípravy porušených vzoriek je uvedený v práci Hlavačiková a kol. (2016).

Pre porovnanie vplyvu biouhlia na fyzikálne charakteristiky piesočnato-hlinitej pôdy bola vytvorená aj kontrolná sada vzoriek, ktorá obsahovala len čistú pôdu. Pripravené vzorky sa použili na stanovenie vlhkostných retenčných kriviek pri tlakových výškach h_w -2, -20, -40, -60, -100, -300, -560, -1000, -3000, -4800 cm.

Počas každého váženia vzoriek boli sledované aj objemové zmeny pôdných vzoriek. Pomocou digitálneho posuvného meradla sa odmerali zmeny rozmerov vo vertikálnom a horizontálnom smere. Meralo sa v dvoch až troch bodoch a výsledná zmena bola vypočítaná ako priemerná hodnota týchto meraní. Následne bol vypočítaný zmenený objem pôdneho valca. Po ukončení meraní vzoriek v pretlakových nádobách (Soil Moisture Equipment Corp., Santa Barbara, CA, USA) boli vzorky vysušené vo vysúšačke pri teplote $105 \text{ }^\circ\text{C}$ do konštantnej hmotnosti.

Z nameraných hodnôt boli vypočítané základné fyzikálne charakteristiky pôdy podľa známych vzťahov (Antal a kol., 2014):

- objemová vlhkosť vzorky pôdy:

$$\theta = \frac{V_w}{V_t} \quad [\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}] \quad (2)$$

$$V_w = \frac{m_w}{\rho_w} = \frac{m_t - m_s}{\rho_w} \quad [\text{cm}^3] \quad (3)$$

kde

V_w – objem kvapalnej fázy v pôdnej vzorke $[\text{cm}^3]$,

V_t – celkový objem pôdnej vzorky $[\text{cm}^3]$,

m_t – okamžitá hmotnosť pôdy o objeme V_t $[\text{g}]$,

m_w – hmotnosť vody v pôde $[\text{g}]$,

m_s – hmotnosť suchej tuhej fázy pôdy $[\text{g}]$,

ρ_w – hustota vody $[\text{g.cm}^{-3}]$,

- objemová hmotnosť pôdy redukovaná:

$$\rho_d = \frac{m_s}{V_t} \quad [\text{g.cm}^{-3}] \quad (4)$$

kde

m_s – hmotnosť suchej tuhej fázy pôdy $[\text{g}]$,

V_t – celkový objem pôdnej vzorky $[\text{cm}^3]$,

- merná hmotnosť vzorky:

$$\rho_s = \frac{m_s}{V_s} \quad [\text{g.cm}^{-3}] \quad (5)$$

kde

m_s – hmotnosť suchej tuhej fázy pôdy $[\text{g}]$,

V_s – objem tuhej fázy pôdy $[\text{cm}^3]$,

- pórovitosť

$$P = \frac{V_p}{V_t} = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_s} = 1 - \frac{\rho_d}{\rho_s} \quad [\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}] \quad (6)$$

kde

V_p – objem pórov v pôde $[\text{cm}^3]$.

Na klasifikáciu objemových zmien zmesí pôdy a biouhlia bol použitý koeficient COLE (Coefficient Of Linear Extensibility), ktorý je priamo merateľný v laboratórnych podmienkach. Kvantifikuje zmršťovaco-napučiavací potenciál pôdy. Vzťah na výpočet tohto koeficientu navrhol Grossman (1968):

$$COLE = \left(\frac{V_{wet}}{V_{dry}} \right)^{\frac{1}{3}} - 1 \quad [-] \quad (7)$$

kde

V_{wet} – je objem pôdy vo vlhkom stave $[\text{cm}^3]$,

V_{dry} – je objem pôdy v suchom stave $[\text{cm}^3]$.

V tejto práci bol hodnotou V_{wet} uvažovaný objem v saturovanom stave a V_{dry} objem po vysušení v laboratórnej sušičke ako je navrhnuté v práci Tall, Gomboš (2013).

Klasifikácia potenciálu COLE zaviedol Parker (1977) a má štyri stupne, ktoré sú uvedené v tab. 1.

Tabuľka 1. Klasifikácia potenciálu COLE
Table 1. Soil classification by COLE

zmrašťovaco – napučiaci potenciál	COLE
nízky	< 0,03
stredný	0,03 – 0,06
vysoký	0,06 – 0,09
veľmi vysoký	> 0,09

Výsledky a diskusia

Deformácia pôdy vplyvom zmrašťovania alebo napučiania závisí od vlhkosti pôdy a je možné ju vyjadriť tiež puklinovou pórovitosťou:

$$P_c = \frac{V_c}{V} \quad [\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}] \quad (8)$$

kde

V_c – objem puklín [cm^3],

V – pôvodný (nedeforovaný) objem pôdy [cm^3].

Výsledky a diskusia

Biouhlie je ľahký pórovitý materiál, ktorý na seba viaže vodu a živiny. Jeho zapracovaním do pôdy, sa predpokladá, že sa zlepšia jej fyzikálne vlastnosti. V tabuľkách 2 – 4 sú uvedené základné fyzikálne charakteristiky pôdy a ich grafické znázornenie je na obr. 1 – 5. Sú to priemerné hodnoty z piatich vzoriek, ktoré boli pripravené pre sady z piesočnato-hlinitkej pôdy a zmesi pôdy a biouhlia pridaného v množstve 40 t.ha⁻¹ a 80 t.ha⁻¹.

Tabuľka 2. Základné fyzikálne charakteristiky hlinito-piesočnatej pôdy z lokality Malanta
Table 2. Basic physical characteristics of sandy-loam soil from the site Malanta

h_w [cm]	m_t [g]	θ [cm ³ .cm ⁻³]	ρ_d [g.cm ⁻³]	ρ_s [g.cm ⁻³]	P [-]	V_t [cm ⁻³]	P_c [-]
2	174,53	0,450	1,304	2,60	0,498	99,5	-0,006
20	172,34	0,430	1,311	2,60	0,496	99,0	0,000
40	169,12	0,400	1,320	2,60	0,492	98,3	0,007
60	165,91	0,368	1,320	2,60	0,492	98,3	0,007
100	163,90	0,352	1,338	2,60	0,485	97,0	0,020
300	159,71	0,311	1,347	2,60	0,482	96,3	0,026
560	154,92	0,270	1,394	2,60	0,464	93,1	0,059
1000	153,09	0,256	1,426	2,60	0,452	91,0	0,080
3000	148,72	0,218	1,494	2,60	0,425	86,9	0,122
4800	146,37	0,199	1,554	2,60	0,402	83,5	0,156

Tabuľka 3. Základné fyzikálne charakteristiky zmesi hlinito-piesočnatej pôdy a biouhlia pridaného do pôdy v množstve 40 t.ha⁻¹

Table 3. Basic physical characteristics of mixture sandy-loam soil with biochar added to the soil in the amount corresponding to 40 t.ha⁻¹

h_w [cm]	m_t [g]	θ [cm ³ .cm ⁻³]	ρ_d [g.cm ⁻³]	ρ_s [g.cm ⁻³]	P [-]	V_t [cm ⁻³]	P_c [-]
2	154,55	0,464	1,116	2,55	0,562	97,8	0,011
20	151,15	0,430	1,116	2,55	0,562	97,8	0,011
40	148,31	0,404	1,126	2,55	0,558	96,9	0,020
60	145,59	0,381	1,141	2,55	0,552	95,8	0,032
100	143,59	0,363	1,149	2,55	0,549	95,1	0,039
300	139,43	0,319	1,149	2,55	0,549	95,1	0,039
560	134,25	0,279	1,213	2,55	0,524	90,0	0,090
1000	132,09	0,259	1,233	2,55	0,516	88,6	0,104
3000	127,21	0,218	1,315	2,55	0,484	83,0	0,161
4800	124,68	0,189	1,328	2,55	0,479	82,2	0,169

Tabuľka 4. Základné fyzikálne charakteristiky zmesi hlinito-piesočnatej pôdy a biouhlia pridaného do pôdy v množstve 80 t.ha⁻¹**Table 4. Basic physical characteristics of mixture sandy-loam soil with biochar added to the soil in the amount corresponding to 80 t.ha⁻¹**

h_w [cm]	m_t [g]	θ [cm ³ .cm ⁻³]	ρ_d [g.cm ⁻³]	ρ_s [g.cm ⁻³]	P [-]	V_t [cm ⁻³]	P_c [-]
2	151,93	0,488	1,048	2,55	0,591	99,0	0,000
20	149,02	0,458	1,048	2,55	0,591	99,0	0,000
40	145,56	0,423	1,048	2,55	0,591	99,0	0,000
60	142,82	0,396	1,048	2,55	0,591	99,0	0,000
100	140,41	0,371	1,048	2,55	0,591	99,0	0,000
300	136,05	0,327	1,048	2,55	0,591	99,0	0,000
560	130,67	0,273	1,048	2,55	0,591	99,0	0,000
1000	128,64	0,258	1,072	2,55	0,581	96,8	0,022
3000	123,22	0,210	1,112	2,55	0,566	93,2	0,058
4800	119,80	0,175	1,127	2,55	0,560	92,0	0,070

Priemerná hodnota úbytku hmotnosti odtečením vody z pôdných valcov bola 21,2 % v čistej pôde. Zo zmesi (40 t.ha⁻¹) odteklo 25,6 % a zo zmesi (80 t.ha⁻¹) 35,5 % vody. Pridaním biouhlia do pôdy sa zväčšila jej retenčná schopnosť.

Objemová vlhkosť pôdy θ sa pridaním biouhlia do pôdy zvýšila na začiatku merania o 8 % pri zmesi (80 t.ha⁻¹) oproti čistej pôde. Vyššia objemová vlhkosť bola len pri nízkych tlakoch, pri tlakových výškach nad -1000 cm hodnoty θ klesali, a to o 5 % (40 t.ha⁻¹) a pri množstve biouhlia 80 t.ha⁻¹ až do 12 % v porovnaní s čistou pôdou (obr. 2).

Objemová hmotnosť ρ_d je závislá od mernej hmotnosti tuhej fázy pôdy a od pórovitosti. Všeobecne sa považuje za faktor pôdnej úrodnosti. Optimálnou hodnotou by mal byť interval medzi príliš kyprou (<1 g.cm⁻³) a príliš zhutnenou pôdou (>1,6 g.cm⁻³) (Fulajtár, 1988). Priemerné hodnoty redukovanej objemovej hmotnosti boli v medziach uvedeného intervalu. Hodnoty ρ_d pre piesočnato-hlinitú pôdu sa približovali k hranici 1,6 g.cm⁻³ pri h_w nad -3000 cm. Pri zmesi 80 t.ha⁻¹ sa hodnoty ρ_d dostali k spodnej hranici príliš kyprej pôdy, a to pri nižších tlakových výškach (obr. 3).

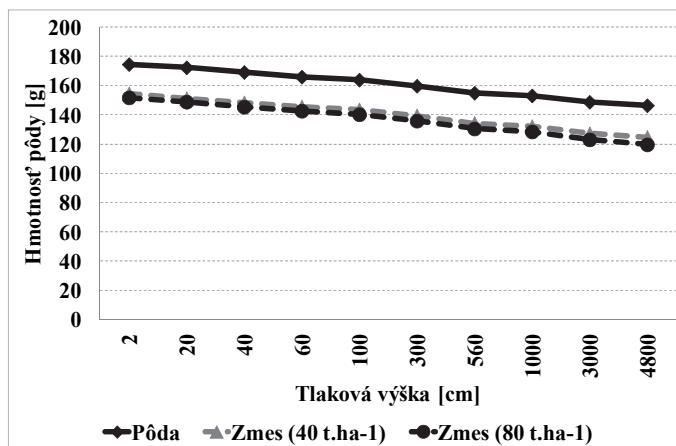
Merná hmotnosť vzorky ρ_s bola stanovená pyknometrickou metódou. Pre každú sadu vzoriek sa urobili dve merania. Výslednou hodnotou bol priemer týchto meraní. Merná hmotnosť oboch zmesí sa takmer nezmenila v porovnaní s ρ_s vypočítanou pre čistú pôdu.

Pórovitosť P je jednou z najdôležitejších vlastností pôdy. Od množstva a charakteru pórov závisí transport vody a minerálnych látok v pôde, difúzna výmena CO₂ medzi pôdnym a atmosférickým vzduchom a rozvoj koreňového systému v pôde. Podiel hrubých, stredných a jemných pórov by mal byť približne rovnaký (Kutílek, 1978). Pridaním biouhlia do pôdy sa zväčšila pórovitosť o 13 % pri množstve biouhlia 40 t.ha⁻¹ a o 19 % (zmes 80 t.ha⁻¹) v porovnaní s čistou pôdou (obr. 4). Stabilnú hodnotu pórovitosti si udržiavala najmä zmes (80 t.ha⁻¹).

Naopak pórovitosť čistej pôdy sa vplyvom objemových zmien v procese vysušovania zredukovala o 19,3 %. Z týchto výsledkov vyplýva, že obohatením skúmanej piesočnato-hlinitkej pôdy pridaním biouhlia došlo ku zvýšeniu celkovej pórovitosti pôdy. To naznačuje, že aplikáciou uvedeného biouhlia v skúmanej pôde je možné vytvoriť priaznivejšie podmienky pre rast rastlín. Na obr. 5 je znázornená zmena objemu pôdy. Pridaním biouhlia do pôdy v množstve 80 t.ha⁻¹ sa zmršťovanie vzorky výrazne zredukovalo v porovnaní s čistou pôdou.

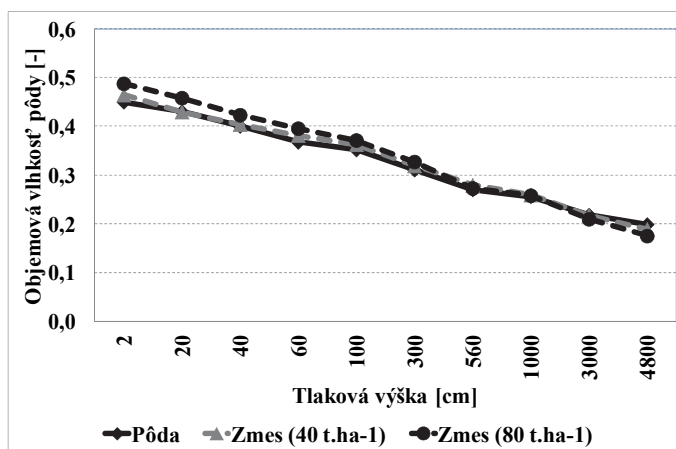
Hodnotenie zmršťovaco-napučiavacieho potenciálu zmesi pôdy a biouhlia bolo vypočítané podľa koeficientu COLE. Ide o jednoduchú metódu vhodnú na klasifikáciu pôd, ktorej vstupné hodnoty sú merateľné v laboratórnych podmienkach. Nedostatkem tejto metódy je, že pri stanovení hodnôt objemov V_{wet} a V_{dry} sa vo svete nepostupuje jednotne. Rôzne pracoviská tieto hraničné hodnoty definujú odlišne. Buď vychádzajú z prírodných klimatických podmienok konkrétnej lokality, alebo sa hodnoty objemov stanovujú v laboratórnych podmienkach, ktoré si jednotlivé pracoviská definujú rôzne. V našej práci sme pre V_{wet} uvažovali objem pri plnom nasýtení pôdných vzoriek a pre V_{dry} objem vzoriek vysušených v sušičke pri teplote 105 °C.

V tab. 5 sú uvedené hodnoty koeficientu COLE. Ide o priemerné hodnoty vypočítané z piatich porušených vzoriek každej sady, ktorú sme pripravili v laboratórnych podmienkach. Ako je uvedené v tabuľke 5, priemerná hodnota koeficientu COLE pre piesočnato-hlinitú pôdu je 0,066, čiže má vysoký zmršťovaco-napučiavací potenciál. Biouhlie je materiál, ktorý viaže a zadržiava vlhkosť. Pridaním biouhlia pri množstve 80 t.ha⁻¹ sa zmršťovací potenciál pôdy znížil o dve triedy nižšie. Zaujímavé je, že pri pridaní biouhlia do pôdy pri množstve 40 t.ha⁻¹ sa zmršťovací potenciál pôdy takmer nezmenil v porovnaní s koeficientom COLE vypočítaným pre pôdu bez prímеси biouhlia.



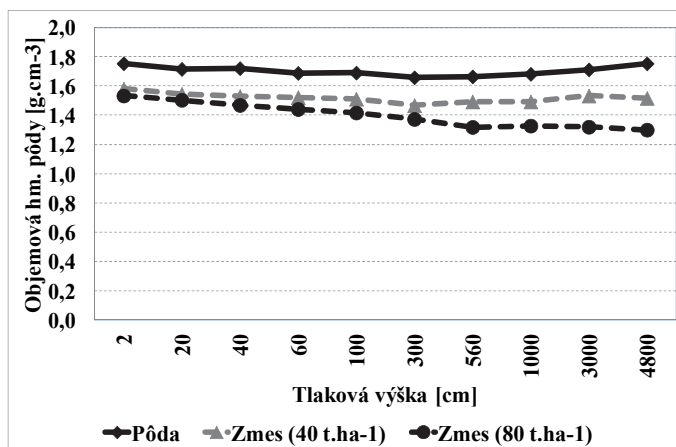
Obr. 1. Priemerné hodnoty hmotnosti (m) piesočnato-hlinitej pôdy a zmesi pôdy a biouhlia pri rôznych tlakových výškach.

Fig. 1. Average values of weight (m) of sandy-loam soil and soil and biochar mixtures at different pressure heads.



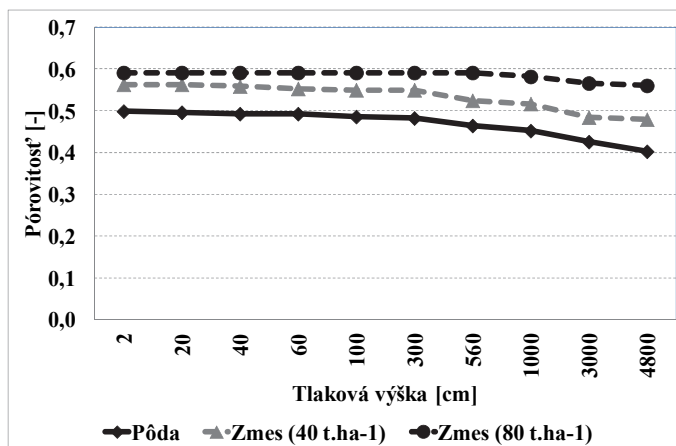
Obr. 2. Priemerné hodnoty objemovej vlhkosti (θ) piesočnato-hlinitej pôdy a zmesi pôdy a biouhlia pri rôznych tlakových výškach.

Fig. 2. Average values of the volumetric water content (θ) of sandy-loam soil and mixtures of soil and biochar at different pressure heads.



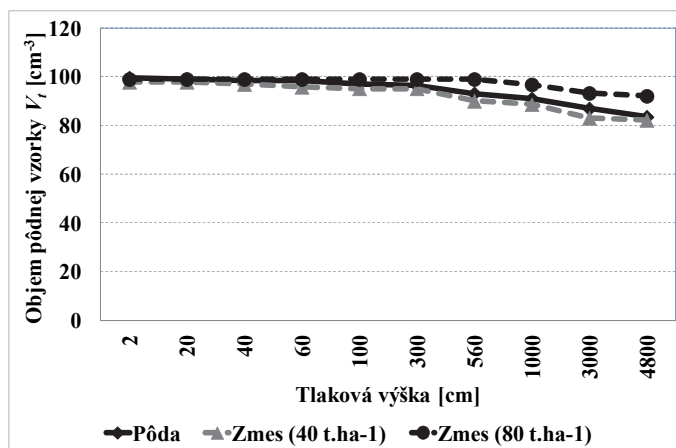
Obr. 3. Priemerné hodnoty objemovej hmotnosti redukovanej (ρ_d) stanovené pre piesočnato-hlinitú pôdu a zmesi pôdy a biouhlia pri rôznych tlakových výškach.

Fig. 3. Average values of the bulk density (ρ_d) of sandy-loam soil and mixtures of soil and biochar at different pressure heads.



Obr. 4. Priemerné hodnoty pórovitosti (P) piesočnato-hlinitej pôdy a zmesí pôdy a biouhlia pri rôznych tlakových výškach.

Fig. 4. Average values of porosity (P) of sandy-loam soil and mixtures of soil and biochar at different pressure heads.



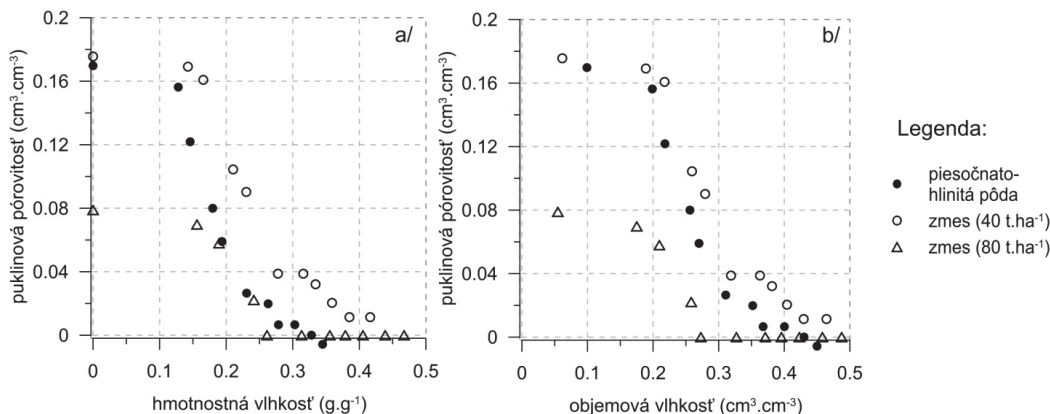
Obr. 5. Priemerné hodnoty objemu (V_i) vzorky piesočnato-hlinitej pôdy a zmesí pôdy a biouhlia pri rôznych tlakových výškach.

Fig. 5. Average values of sample volume (V_i) of sandy-loam soil and mixtures of soil and biochar at different pressure heads.

Tabuľka 5. Koeficient COLEpre piesočnato-hlinitú pôdy, biouhlie a zmesí pôdy a biouhlia

Table 5. Coefficient COLE for sandy-loam soil, biochar and soil and biochar mixtures

Vzorky	COLE	zmrašť.-napučiev. potenciál
Piesočnato-hlinitá pôda	0,066	vysoký
zmes pôdy a biouhlia (40 t.ha ⁻¹)	0,063	vysoký
zmes pôdy a biouhlia (80 t.ha ⁻¹)	0,028	nízky



Obr. 6. Priemerná puklinová pórovitosť (P_c) ako funkcia hmotnostnej a objemovej vlhkosti piesočnato-hlinitkej pôdy a zmesi pôdy a biouhľia.

Fig. 6. Average crack porosity (P_c) of the sandy-loam soil and soil and biochar mixtures at different mass (a) and volumetric water contents (b).

Záver

V štúdiu boli hodnotené zmeny objemov a základných fyzikálnych vlastností piesočnato-hlinitkej pôdy a zmesi pôdy a biouhľia. V laboratórnych podmienkach bolo do Kopeckého valčekov pripravených päť porušených vzoriek čistej pôdy a zmesi pôdy s biouhľím v množstve 40 $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$ a 80 $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$, na ktorých boli merané body retenčných kriviek pri tlakových výškach h_w -2, -20, -40, -60, -100, -300, -560, -1000, -3000, -4800 cm.

Pri zmesi 80 $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$ sa zvýšila dostupnosť vody pre rastliny celkovo o 6,3 %. Objemová vlhkosť zmesi 80 $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$ bola na začiatku merania o 8% vyššia oproti čistej pôde pri nízkych tlakoch, ale od tlakovej výšky -1000 cm bol trend opačný, kde nastal pokles objemovej vlhkosti zmesi oproti čistej pôde.

Redukované objemové hmotnosti zmesi 80 $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$ boli v porovnaní s ostatnými sadami najnižšie a v oblasti nižších sacích tlakov sa blížili k spodnej hranici príliš kyprej pôdy. Pri tejto vlastnosti zmes 40 $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$ mala tiež lepšie parametre v porovnaní s čistou pôdou, kde sa naopak hodnoty redukovanej objemovej hmotnosti blížili pri vyšších tlakoch k hranici príliš zhutnenej pôdy.

Výsledkom zmien redukovaných objemových hmotností boli aj meniace sa pórovitosti pôdy. Pridaním biouhľia do pôdy sa pórovitosť zvýšila o 13% pri zmesi 40 $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$ a o 19 % pri zmesi 80 $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$ na začiatku merania v porovnaní s čistou pôdou. V prípade zmesi 80 $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$ došlo k výraznému zlepšeniu pórovitosti pôdy, ktorá bola v celom rozsahu vlhkostí vyrovnaná. Naopak najnižšie hodnoty pórovitosti boli u čistej pôdy, ktoré sa s klesajúcou vlhkosťou ešte viac znižovali, čo bolo dané postupným zmršťovaním pôdy počas jej vysušovania.

Ďalej bol v práci hodnotený aj zmršťovaco-napučiavací potenciál piesočnato-hlinitkej pôdy a zmesi pôdy a biouhľia podľa koeficientu COLE. Zaujímavé je, že pri

zmesi 80 $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$ sa potenciál znížil o dve triedy z vysokého na nízky. Zmes 40 $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$ mala takmer rovnaký koeficient COLE ako čistá pôda a spadala do klasifikácie s vysokým zmršťovaco-napučiavacím potenciálom. Podobné výsledky boli preukázané aj na základe analýzy puklinovej pórovitosti vzoriek. Objemové zmeny (zmršťovanie pôdy) boli sledované predovšetkým vo vzorkách čistej pôdy a zmesi pôdy a biouhľia (40 $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$). Puklinová pórovitosť zmesi pôdy a biouhľia (80 $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$) bola o približne 50% nižšia ako vzoriek čistej pôdy a zmesi pôdy a biouhľia (40 $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$) pri objemových vlhkostiach 30% a menej.

Meranie a vyhodnocovanie objemových zmien deformujúcich sa pôd má podstatný význam aj pri presnejšom stanovení hydrofyzikálnych charakteristík ako vstupných parametrov do matematického modelovania pohybu vody v pôde. Preto výskum a stanovenie charakteristík týchto pôd považujeme z hľadiska skúmania dynamiky vody za dôležité.

PodĎakovanie

Táto publikácia bola vytvorená s finančnou podporou z projektu Vedeckej grantovej agentúry VEGA 2/0013/15 a realizáciou projektu ITMS 26220120062 Centrum excelentnosti pre integrovaný manažment povodí v meniacich sa podmienkach prostredia, na základe podpory operačného programu Výskum a vývoj financovaného z Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Literatúra

- Antal, J., Bárek, V., Čimo, J., Halaj, P., Halászová, K., Horák, J., Igaz, D., Jurík, L., Muchová, Z., Nvotná, B., Šinka, K. (2014): Hydrologia poľnohospodárskej krajiny, Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, 371 s.

- Domanová, J., Igaz, D., Borza, T., Horák, J. (2015): Retenčné charakteristiky pôdy po aplikácii biouhlia. *Acta Hydrologica Slovaca*, 16(2), 193 – 198.
- Fulajtár, E. (1988): Parametre fyzikálnych vlastností pôd z hľadiska pôdnej úrodnosti. Parametre pôdnej úrodnosti. Bratislava, 29-38.
- Grossman, R. B., Brasher, B. R., Franzmeier, D. P. et al. (1968): Linear extensibility as calculated from natural-clod bulk density measurements. *Soil Science Society of America Proceedings.*, 32, 570 – 573.
- Hlaváčiková, H., Breziarská, K., Novák, V. (2016): Vplyv biouhlia na retenčné vlastnosti hlinito-piesočnatej pôdy. *Acta Hydr. Slov.*, r. 17, č. 2, 2016, 265 – 286.
- Chan, K.Y. (2007): Agronomic value of green waste biochar as a soil amendment, *Soil Res.*, 45 (2007), 629 – 634.
- Kishimoto, S., Flanagan, T.B. (1985): The thermodynamics of hydrogen in palladium carbon alloys, *Zeitschrift Fur Physikalische Chemie Neue Folge*, 143 (1985), pp. 51 – 59.
- Kutílek, M. (1978): *Vodohospodárska pedologie*. SNTL Praha.
- Parker, J. C., Amos, D. F., Kaster, D. L. (1977): An evaluation of several methods of estimating soil volume change. *Soil Science Society of America Journal.*, 41, 1059 – 1064.
- Šurda, P., Rodný, M., Vitková, J., Domanová, J. (2014): Vplyv aplikácie biouhlia na nasýtenú hydraulickú vodivosť poľnohospodársky využívannej pôdy. *Acta Hydrologica Slovaca*, roč. 15, Tem. číslo. 148 – 155.
- Tall, A., Gomboš, M. (2013): Rajonizácia oblasti na VSN podľa potenciálu objemových zmien pôd, *Acta Hydrologica Slovaca*, roč. 14, č. 1, 2013, 68 – 76.

ANALYSE OF VOLUME CHANGE AND SOIL PHYSICAL PROPERTIES OF SANDY-LOAM SOIL AND BIOCHAR MIXTURES

The study assessed changes in the volumes and basic physical properties of sandy-loam soil and soil and biochar mixtures. Under laboratory conditions, five disturbed samples of pure soil and soil mixtures with biochar at 40 t.ha⁻¹ and 80 t.ha⁻¹ were prepared, in which the retention curve points were measured at pressure heads $h_w = -2, -20, -40, -60, -100, -300, -560, -1000, -3000, -4800$ cm.

The water availability increased about 6.3 % in mixture (80 t.ha⁻¹) compared to the sandy loam soil. At the start of the volumetric water content measurements, the volumetric water content of the mixture (80 t.ha⁻¹) was about 8 % larger than that of the pure soil. From a pressure head of -1000 cm, the trend was exactly opposite, the volumetric water content decreased compared to the pure soil.

Reduced bulk densities of a mixture (80 t.ha⁻¹) where the lowest compared to other sets of samples in the area of lower suctions and they were approaching to the lower limit of light soil. Mixtures (40 t.ha⁻¹) showed also better parameters than the pure soil. The pure soils bulk densities increased with decreasing water content and were approaching to parameters of too heavy soils in the area of large suctions.

Changes in reduced bulk densities resulted in varying of soil porosities. By adding of biochar to the soil, the porosity was increased by 13% in the mixture of 40 t.ha⁻¹ and by 19% in the mixture of 80 t.ha⁻¹ at the start of the measurement compared to the control. In the case of a mixture of 80 t.ha⁻¹, the porosity, which was stable throughout the whole range of soil moisture, was

significantly improved. On the other hand, the lowest porosities were found in the pure soil, which declined with decreasing soil moisture. It was caused by the gradual shrinkage of the soil during its drying process.

In addition, the shrinkage-swelling potential of sandy-loam soil and mixtures of soil and biochar according to the COLE coefficient was evaluated. Interestingly, with a mixture (80 t.ha⁻¹), the potential has decreased by two classes from high to low. While the mixture (40 t.ha⁻¹) had almost the same COLE coefficient as the pure soil and fell into a classification with high shrinkage-swelling potential. Similar results were achieved in case of relative volume of cracks analysis. The largest volume of cracks was identified in the sandy-loam soil and the soil and biochar mixtures (40 t.ha⁻¹), which was increased with decreasing soil water content. The positive effect of biochar application on soil volume changes was identified in soil and biochar mixtures (80 t.ha⁻¹). The relative volume of cracks was decreased by almost half in these samples compared to the pure soil or soil and biochar mixtures (40 t.ha⁻¹) at volumetric water content of 30% and lower.

Even though the soil, used in this study, is classified as the sandy-loam soil, it acts like a heavy silt or a clay soil. This was proved also by this study. It contains large amount of silt (43,83%) and clay (14,19%), which can partially explain such behaviour.

Measuring and evaluating of volume changes is also important for more accurate estimation of hydrophysical characteristics of heavy soils as important inputs into mathematical modeling.

Ing. Katarína Breziarska, PhD.
Ing. Hana Hlaváčiková, PhD.
Ústav hydrológie SAV
Dúbravská cesta č. 9
841 04 Bratislava
E-mail: stehlova@uh.savba.sk
hlavacikova@uh.savba.sk